

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-054083

(43)Date of publication of application : 22.02.2000

(51)Int.Cl.

C22C 38/00  
G11B 5/127  
G11B 5/31  
H01F 10/30  
H01F 17/00  
H01F 17/04

(21)Application number : 10-223910

(71)Applicant : ALPS ELECTRIC CO LTD  
SATO TOSHIRO  
YAMAZAWA KIYOTO

(22)Date of filing : 07.08.1998

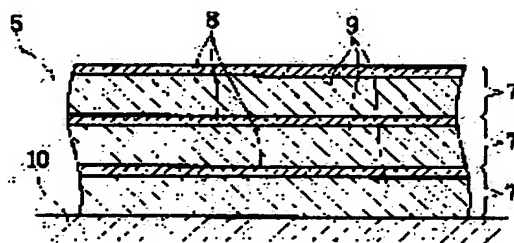
(72)Inventor : SATO TOSHIRO  
YAMAZAWA KIYOTO  
SASAKI YOSHITO  
HATAUCHI TAKASHI

(54) SOFT MAGNETIC MULTILAYERED FILM, AND FLAT MAGNETIC ELEMENT, FILTER, AND THIN FILM MAGNETIC HEAD USING THE SOFT MAGNETIC MULTILAYERED FILM, AND MANUFACTURE OF THE SOFT MAGNETIC MULTILAYER FILM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a soft magnetic multilayered film and its manufacturing method, capable of forming insulating modified layers on respective surfaces of soft magnetic films only by a target necessary for the formation of the soft magnetic films and capable of forming the soft magnetic films into a multilayered film, and also to provide a flat magnetic element a filter and a thin film magnetic head using the soft magnetic multilayered film.

SOLUTION: Although a soft magnetic multilayered film 5 is constituted of a multilayered film structure of plural soft magnetic films 7, modified layers 8 of oxide film or nitride film, having capacitance with respect to high frequency, are formed on respective surfaces of the soft magnetic films 7. The modified layers 8 can be formed by oxidizing or nitriding respective surfaces of the soft magnetic films 7, and accordingly, the soft magnetic multilayered film 5 can be formed only by a target necessary to form the soft magnetic films 7.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

31.10.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than

the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number]  
[Date of registration]  
[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-54083  
(P2000-54083A)

(43) 公開日 平成12年2月22日 (2000. 2. 22)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
C 2 2 C 38/00	3 0 3	C 2 2 C 38/00	3 0 3 S 5 D 0 3 3
G 1 1 B 5/127		G 1 1 B 5/127	K 5 D 0 9 3
5/31		5/31	C 5 E 0 4 9
H 0 1 F 10/30		H 0 1 F 10/30	5 E 0 7 0
17/00		17/00	B
審査請求 未請求 請求項の数32 O L (全 12 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願平10-223910

(22) 出願日 平成10年8月7日 (1998. 8. 7)

(71) 出願人 000010098

アルプス電気株式会社

東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(71) 出願人 597151541

佐藤 敏郎

長野県長野市若里186-1 グランドハイ

ツ若里305号

(71) 出願人 392003188

山沢 清人

長野県長野市松代町城東90番地

(74) 代理人 100085453

弁理士 野▲崎▼ 照夫

最終頁に続く

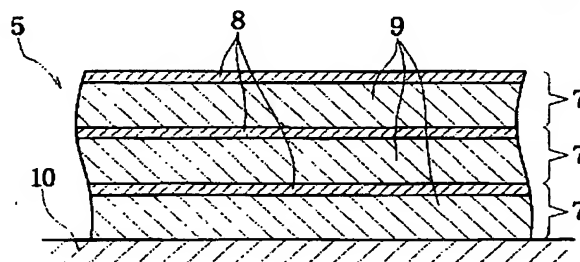
(54) 【発明の名称】 軟磁性多層膜とこの軟磁性多層膜を用いた平面型磁気素子、フィルタ、及び薄膜磁気ヘッド、ならびに前記軟磁性多層膜の製造方法

## (57) 【要約】

【課題】 従来、インダクタなどの磁性膜は、薄い膜厚を有する磁性膜と、絶縁膜とを交互に積層した多層膜構造で形成され、これにより、コア損失の低減と磁気的な飽和の防止を図っていた。ところが、前記軟磁性膜の組成と絶縁膜の組成は異なるため、成膜時に2つのターゲットが必要になることや、前記軟磁性膜と絶縁膜のエッチングレートの違いにより、加工性が悪化していた。

【解決手段】 軟磁性多層膜5は、複数の軟磁性膜7の多層膜構造で形成されているが、各軟磁性膜7の表面には、高周波に対し電気容量を有する酸化膜あるいは窒化膜の変質層8が形成されている。前記変質層8は、軟磁性膜7の表面を酸化あるいは窒化することによって形成され、従って、軟磁性多層膜5は、軟磁性膜7の成膜に必要なターゲットのみで形成できる。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】 軟磁性膜の表面に、電気的な容量を有する酸化膜あるいは窒化膜の変質層が形成され、前記変質層が形成された軟磁性膜が多数積層されていることを特徴とする軟磁性多層膜。

【請求項2】 前記軟磁性膜の組成にはOが含まれ、微結晶相とアモルファス相とが混在した構造を有しており、前記軟磁性膜の表面に、酸化膜の変質層が形成されている請求項1記載の軟磁性多層膜。

【請求項3】 前記軟磁性膜の組成にはNが含まれ、微結晶相とアモルファス相とが混在した構造を有しており、前記軟磁性膜の表面に、窒化膜の変質層が形成されている請求項1記載の軟磁性多層膜。

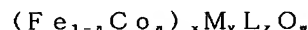
【請求項4】 前記軟磁性膜は、Fe及び／またはCoを主体とする微結晶相と、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、W、Al、Si、Cr、P、C、B、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素Mと、元素O及び／またはNを多量に含むアモルファス相とが混在した構造を有し、前記軟磁性膜の表面に、酸化膜または窒化膜の変質層が形成されている請求項1記載の軟磁性多層膜。

【請求項5】 前記微結晶相の結晶構造は、bcc構造、hcp構造、fcc構造のうち1種あるいは2種以上の混成構造から成る請求項4記載の軟磁性多層膜。

【請求項6】 前記微結晶相の結晶構造が、主にbcc構造から成る請求項5記載の軟磁性多層膜。

【請求項7】 前記微結晶相の平均結晶粒径は、30nm以下である請求項4ないし6のいずれかに記載の軟磁性多層膜。

【請求項8】 前記軟磁性膜が下記の組成で形成されている請求項4ないし7のいずれかに記載の軟磁性多層膜。



ただし、Mは、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、W、Al、Si、Cr、P、C、B、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Lは、Pt、Ru、Rh、Pd、Ir、Os、Sn、Ti、Au、Ag、Cuから選ばれる1種または2種以上の元素であり、組成比を示すaは、 $0 \leq a \leq 0.5$ 、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $w$ はat%で、 $5 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $5 \leq w \leq 40$ 、 $10 \leq y+z \leq 40$ であり、残部はxである。

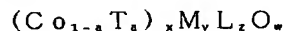
【請求項9】 前記軟磁性膜の組成比を示すaは、 $0 \leq a \leq 0.3$ 、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $w$ はat%で、 $7 \leq y \leq 15$ 、 $0 \leq z \leq 5$ 、 $20 \leq w \leq 35$ であり、残部がxである請求項8記載の軟磁性多層膜。

【請求項10】 前記元素Mは、Zr、Hfのうち一方あるいは両方を含む元素である請求項8または9に記載の軟磁性多層膜。

【請求項11】 前記軟磁性膜の組成aは0であり、組

成Zは0at%である請求項8ないし10のいずれかに記載の軟磁性多層膜。

【請求項12】 前記軟磁性膜が下記の組成で形成されている請求項4ないし7のいずれかに記載の軟磁性多層膜。



ただし、TはFe、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Mは、Ti、Zr、Hf、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Lは、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Os、Ir、Pt、Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比を示すaは、 $0 \leq a \leq 0.7$ 、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $w$ はat%で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ の関係を満足し、残部はxである。

【請求項13】 前記軟磁性膜の組成比を示すaは、 $0 \leq a \leq 0.3$ 、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $w$ はat%で、 $7 \leq y \leq 15$ 、 $0 \leq z \leq 19$ 、 $20 \leq w \leq 35$ 、 $30 \leq y+z+w \leq 50$ の関係を満足し、残部はxである請求項12記載の軟磁性多層膜。

【請求項14】 前記元素TはFeである請求項12または13に記載の軟磁性多層膜。

【請求項15】 CoとFeの濃度比は、 $0.3 \leq \{Co / (Co+Fe)\} \leq 0.8$ である請求項14記載の軟磁性多層膜。

【請求項16】 前記軟磁性膜を構成する一元素として、Oの代わりにNが、あるいはOと共にNが用いられる請求項8または12に記載の軟磁性多層膜。

【請求項17】 前記軟磁性膜の比抵抗は、 $300 \sim 3000 \mu\Omega \cdot cm$ である請求項4ないし16のいずれかに記載の軟磁性多層膜。

【請求項18】 請求項1ないし16のいずれかに記載された軟磁性多層膜によって磁心が形成されていることを特徴とする平面型磁気素子。

【請求項19】 請求項1ないし16のいずれかに記載された軟磁性多層膜によって磁心が形成されていることを特徴とするフィルタ。

【請求項20】 少なくとも下部コア層と、記録媒体との対向部で前記下部コア層と磁気ギャップを介して対向する上部コア層と、両コア層に記録磁界を与えるコイル層とを有する薄膜磁気ヘッドにおいて、前記下部コア層と上部コア層のうち少なくとも一方は、請求項1ないし16のいずれかに記載された軟磁性多層膜により形成されていることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項21】 成膜装置内に、組成にO及び／またはNを有する軟磁性膜を成膜した後、前記装置内に酸素あるいは窒素を導入して、前記軟磁性膜の表面を酸化あるいは窒化させ、前記表面に電気的な容量を有する酸化膜あるいは窒化膜の変質層を形成する工程と、

前記工程を繰り返し行い、表面に変質層を有する軟磁性膜を積層して多層膜化する工程と、を有することを特徴とする軟磁性多層膜の製造方法。

【請求項22】 前記軟磁性膜を成膜した後、前記軟磁性膜を大気にさらして、前記軟磁性膜の表面を酸化させ、前記表面に電気容量を有する酸化膜の変質層を形成する請求項21記載の軟磁性多層膜の製造方法。

【請求項23】 前記軟磁性膜の組成にOを有する場合、前記軟磁性膜の表面を酸化して、前記表面に酸化膜の変質層を形成する請求項21または22に記載の軟磁性多層膜の製造方法。

【請求項24】 前記軟磁性膜の組成にNを有する場合、前記軟磁性膜の表面を窒化して、前記表面に窒化膜の変質層を形成する請求項21記載の軟磁性多層膜の製造方法。

【請求項25】 前記軟磁性膜を下記の組成で形成する請求項21ないし24のいずれかに記載の軟磁性多層膜の製造方法。

$(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_x\text{M}_y\text{L}_z\text{K}_w$

ただし、Mは、Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W, Al, Si, Cr, P, C, B, Ga, Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Lは、Pt, Ru, Rh, Pd, Ir, Os, Sn, Ti, Au, Ag, Cuから選ばれる1種または2種以上の元素であり、KはOまたはNのうち一方、あるいは両方を含む元素であり、組成比を示すaを、 $0 \leq a \leq 0.5$ 、x, y, z, wはat%で、 $5 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $5 \leq w \leq 40$ 、 $10 \leq y+z \leq 40$ とし、残部はxである。

【請求項26】 前記軟磁性膜の組成比を示すaを、 $0 \leq a \leq 0.3$ 、x, y, z, wはat%で、 $7 \leq y \leq 15$ 、 $0 \leq z \leq 5$ 、 $20 \leq w \leq 35$ とし、残部はxである請求項25記載の軟磁性多層膜の製造方法。

【請求項27】 前記元素Mを、Zr, Hfのうち一方あるいは両方を含めて形成する請求項25または26に記載の軟磁性多層膜の製造方法。

【請求項28】 前記軟磁性膜の組成aを0で、組成ZをO at%で形成する請求項25ないし27のいずれかに記載の軟磁性多層膜の製造方法。

【請求項29】 前記軟磁性膜を下記の組成で形成する請求項21ないし24のいずれかに記載の軟磁性多層膜の製造方法。

$(\text{Co}_{1-x}\text{Ta}_x)_x\text{M}_y\text{L}_z\text{K}_w$

ただし、TはFe, Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Mは、Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Cr, Mo, Si, P, C, W, B, Al, Ga, Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Lは、Au, Ag, Cu, Ru, Rh, Os, Ir, Pt, Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、KはOまたはNのうち一方、あるいは

は両方を含む元素であり、組成比を示すaを、 $0 \leq a \leq 0.7$ 、x, y, z, wはat%で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ とし、残部はxである。

【請求項30】 前記軟磁性膜の組成比を示すaを、 $0 \leq a \leq 0.3$ 、x, y, z, wはat%で、 $7 \leq y \leq 15$ 、 $0 \leq z \leq 19$ 、 $20 \leq w \leq 35$ 、 $30 \leq y+z+w \leq 50$ とし、残部はxである請求項29記載の軟磁性多層膜の製造方法。

【請求項31】 前記元素TをFeで形成する請求項29または30に記載の軟磁性多層膜の製造方法。

【請求項32】 CoとFeの濃度比を、 $0.3 \leq (\text{Co}/(\text{Co}+\text{Fe})) \leq 0.8$ で形成する請求項31記載の軟磁性多層膜の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば平面型磁気素子（トランス、インダクタ）の磁心などに用いられる軟磁性膜に係わり、特に、軟磁性膜を成膜するためのターゲットのみで、軟磁性膜と絶縁膜（変質層）の多層膜構造を形成できる軟磁性多層膜とこの軟磁性多層膜を用いた平面型磁気素子、フィルタ、及び薄膜磁気ヘッド、ならびに前記軟磁性多層膜の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】平面型磁気素子（トランス、インダクタ）、フィルタ、及び薄膜磁気ヘッドなどの磁性層として使用される軟磁性膜は、高周波特性に優れている必要性があり、例えば周波数特性に優れた軟磁性膜として、特開平6-316748号公報に記載されているFe-Hf-O膜を挙げることができる。

【0003】図9は、従来のインダクタの断面図である。図9では、磁性層1の上に平面コイル3が形成され、前記平面コイル3が絶縁層2によって覆われている。さらに前記絶縁層2上に磁性層4が形成され、この磁性層4の端部が、前記磁性層1と磁気的に接続されている。前記磁性層1, 4は、高周波特性に優れた、前記Fe-Hf-O膜などによって形成されている。前記磁性層1, 4はスパッタ法などによって成膜されるが、平面コイル3を覆っている絶縁層2上に形成される磁性層4は、磁気的な飽和を防ぐため、前記磁性層4の膜厚を厚くする必要がある。

【0004】しかし、前記磁性層4の膜厚が厚く形成されると、高周波帯域におけるコア損失（鉄損）が大きくなるといった問題がある。コア損失は、比抵抗に反比例の関係にあり、前述したFe-Hf-O膜は高い比抵抗を有しているため、前記Fe-Hf-O膜を磁性層1, 4として使用すれば、コア損失を低減できる。しかし、同時に前記コア損失は、膜厚の二乗に比例の関係にあるため、膜厚が厚くなれば、高周波帯域においては、急激にコア損失が大きくなる。よって、前記コア損失の発生

を低減し、磁氣的飽和を防止するためには、薄い膜厚で形成された軟磁性膜と、絶縁膜とを交互に積層した多層膜を用いることが必要になる。前記絶縁膜には、絶縁材料として一般的な $Al_2O_3$ や $SiO_2$ などが使用されている。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところが、成膜装置内で、軟磁性膜と絶縁膜とを交互に積層するには、前記軟磁性膜（例えば、 $Fe-Hf-O$ 膜）と、絶縁膜（例えば、 $Al_2O_3$ ）との組成が異なっているために、軟磁性膜を成膜するために必要なターゲットと、絶縁膜を成膜するために必要なターゲットの2種類を用意し、各ターゲットを交換しながら、軟磁性膜と絶縁膜とを交互に積層しなければならず、製造工程が煩雑化する。また、成膜後、軟磁性膜と絶縁膜とで構成される磁性層をパターン化する際に、軟磁性膜と絶縁膜とでは、それぞれエッチングレートが異なっているために、加工性が非常に悪いなどの問題点があった。

【0006】本発明は上記従来の問題点を解決するためのものであり、特に、軟磁性膜を成膜するために必要なターゲットのみで、前記軟磁性膜の表面に絶縁性の変質層を形成し、前記軟磁性膜の多層膜化を実現できる軟磁性多層膜及びその製造方法を提供すること、および、この軟磁性多層膜を用いた平面型磁気素子、フィルタ、及び薄膜磁気ヘッドを提供することを目的としている。

#### 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明における軟磁性多層膜は、軟磁性膜の表面に、電気的な容量を有する酸化膜あるいは窒化膜の変質層が形成され、前記変質層が形成された軟磁性膜が多数積層されていることを特徴とするものである。

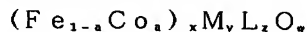
【0008】本発明では、前記軟磁性膜の組成にOが含まれ、しかも、微結晶相とアモルファス相とが混在した膜構造を有しており、前記軟磁性膜の表面に、酸化膜の変質層が形成されているもの、または、前記軟磁性膜の組成にNが含まれ、しかも、微結晶相とアモルファス相とが混在した膜構造を有しており、前記軟磁性膜の表面に、窒化膜の変質層が形成されているものとすることができる。

【0009】本発明の軟磁性多層膜の個々の層を構成する前記軟磁性膜は、例えば、 $Fe$ 及び／または $Co$ を主体とする微結晶相と、 $Ti$ 、 $Zr$ 、 $Hf$ 、 $V$ 、 $Nb$ 、 $Ta$ 、 $Mo$ 、 $W$ 、 $Al$ 、 $Si$ 、 $Cr$ 、 $P$ 、 $C$ 、 $B$ 、 $Ga$ 、 $Ge$ と希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素 $M$ と、元素 $O$ 及び／または $N$ を多量に含むアモルファス相とが混在した膜構造を有する。

【0010】また、前記微結晶相の結晶構造は、 $bcc$ 構造、 $hcp$ 構造、 $fcc$ 構造のうち1種あるいは2種以上の混成構造から成ることが好ましく、より好ましくは、前記微結晶相の結晶構造が、主に $bcc$ 構造から成

ることである。また本発明では、前記微結晶相の平均結晶粒径は、 $30\text{nm}$ 以下であることが好ましい。

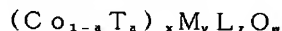
【0011】また本発明では、前記軟磁性膜が例えば下記の組成で形成されている。



ただし、 $M$ は、 $Zr$ 、 $Hf$ 、 $V$ 、 $Nb$ 、 $Ta$ 、 $Mo$ 、 $W$ 、 $Al$ 、 $Si$ 、 $Cr$ 、 $P$ 、 $C$ 、 $B$ 、 $Ga$ 、 $Ge$ と希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、 $L$ は、 $Pt$ 、 $Ru$ 、 $Rh$ 、 $Pd$ 、 $Ir$ 、 $Os$ 、 $Sn$ 、 $Ti$ 、 $Au$ 、 $Ag$ 、 $Cu$ から選ばれる1種または2種以上の元素であり、組成比を示す $a$ は、 $0 \leq a \leq 0.5$ 、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $w$ は $at\%$ で、 $5 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $5 \leq w \leq 40$ 、 $10 \leq y+z \leq 40$ であり、残部は $x$ である。より好ましくは、前記軟磁性膜の組成比を示す $a$ は、 $0 \leq a \leq 0.3$ 、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $w$ は $at\%$ で、 $7 \leq y \leq 15$ 、 $0 \leq z \leq 5$ 、 $20 \leq w \leq 35$ であり、残部が $x$ である。

【0012】また、前記元素 $M$ は、 $Zr$ 、 $Hf$ のうち一方あるいは両方を含む元素であることが好ましい。さらに本発明では、前記軟磁性膜の組成 $a$ は0であり、組成 $Z$ は $0at\%$ である、すなわち、前記軟磁性膜は、 $Fe-M-O$ 膜で形成されていることが好ましい。

【0013】あるいは本発明における前記軟磁性膜が下記の組成で形成されている。



ただし、 $T$ は $Fe$ 、 $Ni$ のうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、 $M$ は、 $Ti$ 、 $Zr$ 、 $Hf$ 、 $Nb$ 、 $Ta$ 、 $Cr$ 、 $Mo$ 、 $Si$ 、 $P$ 、 $C$ 、 $W$ 、 $B$ 、 $Al$ 、 $Ga$ 、 $Ge$ と希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、 $L$ は、 $Au$ 、 $Ag$ 、 $Cu$ 、 $Ru$ 、 $Rh$ 、 $Os$ 、 $Ir$ 、 $Pt$ 、 $Pd$ から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比を示す $a$ は、 $0 \leq a \leq 0.7$ 、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $w$ は $at\%$ で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ の関係を満足し、残部は $x$ である。

【0014】また本発明では、前記軟磁性膜の組成比を示す $a$ は、 $0 \leq a \leq 0.3$ 、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $w$ は $at\%$ で、 $7 \leq y \leq 15$ 、 $0 \leq z \leq 19$ 、 $20 \leq w \leq 35$ 、 $30 \leq y+z+w \leq 50$ の関係を満足し、残部は $x$ であることがより好ましい。

【0015】また本発明では、前記元素 $T$ は $Fe$ であることが好ましく、この場合、 $Co$ と $Fe$ の濃度比は、 $0.3 \leq \{Co / (Co+Fe)\} \leq 0.8$ であることが好ましい。さらに本発明では、前述した前記軟磁性膜を構成する一元素として、 $O$ の代わりに $N$ が、あるいは $O$ と共に $N$ が用いられてもよい。以上詳述した本発明における前記軟磁性膜の比抵抗は、 $300 \sim 3000 \mu\Omega \cdot cm$ である。

【0016】また本発明は、前述した軟磁性多層膜によって、平面型磁気素子、及びフィルタの磁心が形成され

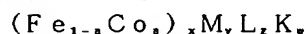
ていることを特徴とするものである。

【0017】さらに本発明は、少なくとも下部コア層と、記録媒体との対向部で前記下部コア層と磁気ギャップを介して対向する上部コア層と、両コア層に記録磁界を与えるコイル層とを有する薄膜磁気ヘッドにおいて、前記下部コア層と上部コア層のうち少なくとも一方は、前述した軟磁性多層膜により形成されていることを特徴とするものである。

【0018】本発明における軟磁性多層膜の製造方法は、成膜装置内に、組成にO及び／またはNを有する軟磁性膜を成膜した後、前記装置内に酸素あるいは窒素を導入して、前記軟磁性膜の表面を酸化あるいは窒化させ、前記表面に電気容量を有する酸化膜あるいは窒化膜の変質層を形成する工程と、前記工程を繰り返し行い、表面に変質層を有する軟磁性膜を積層して多層膜化する工程と、を有することを特徴とするものである。また本発明では、前記軟磁性膜を成膜した後、前記軟磁性膜を大気にさらして、前記軟磁性膜の表面を酸化させ、前記表面に電気容量を有する酸化膜の変質層を形成してもよい。

【0019】また本発明では、前記軟磁性膜の組成にOを有する場合、前記軟磁性膜の表面を酸化して、前記表面に酸化膜の変質層を形成することが好ましい。さらに本発明では、前記軟磁性膜の組成にNを有する場合、前記軟磁性膜の表面を窒化して、前記表面に窒化膜の変質層を形成することが好ましい。

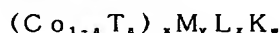
【0020】本発明では、前記軟磁性膜を下記の組成で形成している。



ただし、Mは、Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W, Al, Si, Cr, P, C, B, Ga, Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Lは、Pt, Ru, Rh, Pd, Ir, Os, Sn, Ti, Au, Ag, Cuから選ばれる1種または2種以上の元素であり、KはOまたはNのうち一方、あるいは両方を含む元素であり、組成比を示すaを、 $0 \leq a \leq 0.5$ 、x, y, z, wはat%で、 $5 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $5 \leq w \leq 40$ 、 $10 \leq y+z \leq 40$ とし、残部はxである。また本発明では、前記軟磁性膜の組成比を示すaを、 $0 \leq a \leq 0.3$ 、x, y, z, wはat%で、 $7 \leq y \leq 15$ 、 $0 \leq z \leq 5$ 、 $20 \leq w \leq 35$ とし、残部はxであることがより好ましい。

【0021】さらに本発明では、前記元素Mを、Zr, Hfのうち一方あるいは両方を含めて形成することが好ましい。また本発明では、前記軟磁性膜の組成aを0で、組成Zを0at%で形成する、すなわち前記軟磁性膜の組成をFe-M-Oで形成することが好ましい。

【0022】あるいは本発明では、前記軟磁性膜を下記の組成で形成する。



ただし、TはFe, Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Mは、Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Cr, Mo, Si, P, C, W, B, Al, Ga, Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Lは、Au, Ag, Cu, Ru, Rh, Os, Ir, Pt, Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、KはOまたはNのうち一方、あるいは両方を含む元素であり、組成比を示すaを、 $0 \leq a \leq 0.7$ 、x, y, z, wはat%で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ とし、残部はxである。

【0023】また本発明では、前記軟磁性膜の組成比を示すaを、 $0 \leq a \leq 0.3$ 、x, y, z, wはat%で、 $7 \leq y \leq 15$ 、 $0 \leq z \leq 19$ 、 $20 \leq w \leq 35$ 、 $30 \leq y+z+w \leq 50$ とし、残部はxであることがより好ましい。また本発明では、前記元素TをFeで形成することが好ましく、この場合、CoとFeの濃度比を、 $0.3 \leq \{\text{Co} / (\text{Co} + \text{Fe})\} \leq 0.8$ で形成することが好ましい。

【0024】従来から、平面型磁気素子（インダクタ、トランス）、フィルタ、及び薄膜磁気ヘッドなどに使用される磁性層を、薄膜厚を有する軟磁性膜と絶縁膜とを交互に積層した多層膜構造で形成することによって、磁気的な飽和の防止と、高周波帯域におけるコア損失（鉄損）を低下させることが可能であることが知られている。

【0025】従来では、絶縁膜として $\text{Al}_2\text{O}_3$ や $\text{SiO}_2$ などを用いていたが、軟磁性膜の組成と、前記絶縁膜の組成が異なるために、成膜に際して、軟磁性膜を成膜するためのターゲットと、絶縁膜を成膜するためのターゲットの2種類を必要とすることや、軟磁性膜と絶縁膜のエッチングレートの違いによる加工性の悪さなどの問題があった。

【0026】そこで本発明では、軟磁性膜の成膜に必要なターゲットのみで、軟磁性膜と絶縁膜とが交互に積層された軟磁性多層膜を形成でき、しかも前記軟磁性膜と絶縁膜の組成を同一組成で形成することを可能にしている。図1は、本発明における多層膜化された軟磁性多層膜5の構造を表す断面図である。図1に示すように基板10上には、複数の軟磁性膜7が積層されている。本発明では前記軟磁性膜7の組成には、O（酸素）及び／またはN（窒素）が含有されており、膜構造としては、FeやCoなどの磁性を担う元素の微結晶相と、この微結晶相を取り囲むアモルファス相とが混在したものとなっている。

【0027】図1に示すように、各軟磁性膜7の表面には、変質層8が形成されている。この変質層8は、高周波に対し電気的な容量を有する酸化膜あるいは窒化膜であり、高周波領域では、前記変質層8は、軟磁気特性を有する無変質層9（軟磁性膜7から変質層8を取り除い



た部分)を磁氣的にシールドし、従来における絶縁膜と同等の機能を発揮できるようにしている。

【0028】前記変質層8の構成元素は、無変質層9と同じであり、組成的に見ると、図1に示す軟磁性多層膜5はほぼ単層に近い状態で形成されている。前述したように、本発明では基板10上に積層される軟磁性膜7の組成には、O(酸素)及び/またはN(窒素)が含まれている。O(酸素)あるいはN(窒素)の量が、前記軟磁性膜7の表面と、前記軟磁性膜7の表面以外の部分

とは異なっており、前記軟磁性膜7の表面には、O(酸素)及び/またはN(窒素)が多く含有され、強い酸化膜、あるいは窒化膜の変質層8が形成されている。【0029】図2は、3.0 $\mu$ mの膜厚のFe-Hf-O膜を形成し、表面に酸化膜の変質層8を形成した後、オージェ分析法を行った結果を示している。本分析で用いたFe-Hf-O膜は、Fe<sub>51</sub>Hf<sub>11</sub>O<sub>34</sub>である。また図2の横軸が、表面からのスパッタリング深さ( $\mu$ m)、縦軸がFe-Hf-O膜を構成する各原子の含有量(at%)である。

【0030】図2に示す分析結果では、表面から約0.01 $\mu$ m程度の深さまでは、Fe原子やHf原子に比べて、酸素原子の含有量が非常に多くなっている。また、表面から約0.01 $\mu$ m程度までには、含有量は少ないもののFe原子やHf原子も含まれている。このように、表面では酸素原子の含有量が多いが、組成としてはFe-Hf-Oであることに変わりがない。すなわち、表面付近は、前記Fe-Hf-Oに多量の酸素が含まれた自然酸化膜であり、この部分が前記変質層8である。また、表面から約0.01 $\mu$ mよりも深い位置では、Fe原子の含有量が多くなっており、軟磁気特性を示す。

【0031】このように、Fe-Hf-O膜の表面とそれ以外の部分とは、組成は同じであるものの、酸素原子の含有量が大きく異なっているために、単層でありながら、磁氣的な絶縁性を有する変質層8が、表面以外の軟磁気特性を有する無変質層9の上に重ねられた積層状態になっている。

【0032】本発明者らは、前記変質層8が高周波磁界に対して磁氣的な絶縁層として機能することを以下のようにして実証した。まず図3に示すように、前記Fe-Hf-O膜を基板上に成膜し、このFe-Hf-O膜の表面を大気にさらして自然酸化させ、変質層を形成した。図2に示したオージェ分析は、図3に示した軟磁性膜を分析したものであり、すなわち図3に示す実験に使用したFe-Hf-O膜の表面の変質層の厚さは0.01 $\mu$ m程度である。

【0033】図3では、前記Fe-Hf-O膜の変質層の表面に2つの電極部を密着させ、電極部間に交流電圧を供給してそのインピーダンスを測定した。その実験結果を図4に示す。図4に示すように、交流電流の周波数100MHz程度の高周波帯域となると、インピーダン

スが大幅に低下する。このことは、前記変質層が、高周波帯域において電氣的には容量成分として機能していることを意味している。

【0034】磁性膜間の層が高周波電流に対して電氣的な容量成分として機能することは、高い周波数の交流磁界に対して磁氣的な絶縁層として機能するための必要条件である。本発明では、Fe-Hf-O膜などの軟磁性膜の表面に酸化膜または窒化膜の変質層が形成されている場合に、この変質層が少なくとも高周波帯域において電氣的な容量成分として機能すれば、軟磁性を有する多層膜間で、高い周波数の高周波磁界に対して磁気シールドとして機能できるという現象に着目したものである。

【0035】本発明では、図1に示す軟磁性膜7の表面に、高周波電流に対して電氣的な容量成分として機能する酸化膜または窒化膜の変質層8を形成することにより、この変質層8を高周波磁界に対して磁氣的な絶縁層として機能させることができる。したがって、図1に示す軟磁性多層膜では、個々の無変質層9、9、…の磁氣的な膜厚を低下させることができ、コア損失の低減に有効である。しかも、多層膜であるために全体的な飽和磁束量を高めることができ、磁氣的な飽和が生じにくい軟磁性材料を得ることができる。

【0036】なお前記Fe-Hf-O膜の表面に酸化膜を形成する方法は、前記Fe-Hf-O膜を成膜後、大気中にさらすか、あるいは、成膜装置内に、酸素を封入することで容易に形成できる。前記Fe-Hf-O膜には、酸素原子と結合しやすいHf原子が含まれているために、大気中に含まれている酸素原子が、前記Hf原子に引き寄せられ、前記Fe-Hf-O膜表面に、酸素でリッチな酸化膜が形成されるものと考えられる。

【0037】本発明では、Fe-Hf-O膜などのように、組成にO(酸素)及び/またはN(窒素)を含有し、さらに前記酸素原子あるいは窒素原子と結合しやすい、Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W, Al, Si, Cr, P, C, B, Ga, Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素Mを含む軟磁性膜の表面に、積極的に、酸化膜あるいは窒化膜などの変質層を形成した後、前記軟磁性膜と同一組成を有する軟磁性膜を、前記変質層上に再び成膜して、さらに前記軟磁性膜の表面に酸化膜あるいは窒化膜の変質層を形成する。このようにして積層された軟磁性多層膜は図1に示すように、軟磁気特性を有する無変質層9と、交流に対し電気容量を有する酸化膜あるいは窒化膜の変質層8とが、交互に積層された多層膜構造となり、変質層8を介して対向する無変質層9どうしは、磁氣的に遮断された状態となっており、軟磁性膜7の膜厚を薄く形成すれば、軟磁気特性を有する無変質層9の膜厚は薄くなり、コア損失の低減を図れる。また前記軟磁性多層膜5を多層膜構造とすれば、前記軟磁性多層膜5全体の膜厚を厚く形成でき、磁氣的な飽和を防止することができる。



【0038】特に本発明においては、軟磁性膜7の成膜に必要なターゲットのみで、多層膜構造の軟磁性多層膜5を形成できるので、製造工程を容易化でき、しかも、成膜された軟磁性膜7の無変質層9と変質層8は組成的には同じであるので、エッチングレートはほぼ同じであり、加工性も良い。

【0039】次に、本発明における軟磁性膜の特徴について説明する。本発明における軟磁性膜は、Fe及び／またはCoを主体とする微結晶相と、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、W、Al、Si、Cr、P、C、B、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素Mと、元素O及び／またはNを多量に含むアモルファス相とが混在した膜構造を有するものである。

【0040】本発明における軟磁性膜の具体的な組成式は、 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_x\text{M}_y\text{L}_z\text{O}_w$ で表される。ただし、Lは、Pt、Ru、Rh、Pd、Ir、Os、Sn、Ti、Au、Ag、Cuから選ばれる1種または2種以上の元素であり、組成比x、y、z、wはat%である。なお、Oに代えて、あるいはOと共にN（窒素）が組成内に含まれていてもよい。

【0041】前記軟磁性膜において、Feは主成分であり、強磁性を示す元素である。従って前記Feは磁性を担う元素である。特に、高飽和磁束密度を得るためには、Feの含有量は多いほど好ましい。Coは、Feと同じく磁性を担う元素であり、Feの一部を置換して添加することが可能である。良好な軟磁気特性を得るにはFeとの添加比率が0.5以下であることが好ましく、0.3以下であるとさらに好ましい。

【0042】元素Mは、軟磁気特性と高抵抗を両立するために必要な元素であり、これらは酸素と結合しやすく、酸化物を形成し、非晶質中に主に分布して、磁性膜の比抵抗を向上させるものである。この効果を得るためには、少なくとも5at%以上含まれていることが好ましいが、添加量が多すぎると、磁性膜の軟磁気特性が劣化し、また、Feの濃度が低下することによる飽和磁束密度の低下のため、30at%以下であることが好ましい。より好ましくは、7at%以上15at%以下である。

【0043】元素Lは、磁性膜の耐食性、周波数特性及び磁歪を調整する元素である。これら、元素Lは10at%を越えて添加すると、軟磁気特性の劣化や飽和磁束密度の低下を招き好ましくない。より好ましくは、5at%以下とするとよい。また元素Mと複合添加する際は元素Mと元素Lとの総量が5at%以上40at%以下であると好ましい。

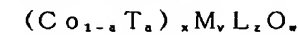
【0044】元素Oは非晶質中に存在して元素Mと結合してMの酸化物を形成するものであり、10at%以上40at%以下含まれていることが好ましい。良好な軟磁気特性と高い飽和磁束密度、及び良好な周波数特性を

得るためには元素Oの添加量は20at%以上35at%以下であることが好ましい。

【0045】本発明では良好な軟磁気特性を確保しつつ高い飽和磁束密度を維持するためには、組成比を示すaは、 $0 \leq a \leq 0.5$ 、x、y、z、wはat%で、 $5 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $5 \leq w \leq 40$ 、 $10 \leq y+z \leq 40$ であり、残部はXであることが好ましい。さらに、良好な軟磁気特性と高い飽和磁束密度を確実に得るためには、aは、 $0 \leq a \leq 0.3$ 、x、y、z、wはat%で、 $7 \leq y \leq 15$ 、 $0 \leq z \leq 5$ 、 $20 \leq w \leq 35$ であり、残部がxであることがより好ましい。

【0046】また前記元素Mは、Zr、Hfのうち一方あるいは両方を含む元素であることが好ましい。さらに本発明では、前記軟磁性膜の組成aを0に、組成zを0at%にすることが好ましい。すなわち、前記軟磁性膜の組成をFe-M-Oで形成することが好ましい。このFe-M-O膜は、非常に飽和磁束密度が高い。

【0047】または本発明では、前記軟磁性膜は、下記の組成で形成されていてもよい。



ただし、TはFe、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Mは、Ti、Zr、Hf、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Lは、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Os、Ir、Pt、Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比を示すaを、 $0 \leq a \leq 0.7$ 、x、y、z、wはat%で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ とし、残部はxである。

【0048】本発明では良好な軟磁気特性を確保しつつ高い飽和磁束密度を維持するためには、前記軟磁性膜の組成比を示すaを、 $0 \leq a \leq 0.3$ 、x、y、z、wはat%で、 $7 \leq y \leq 15$ 、 $0 \leq z \leq 19$ 、 $20 \leq w \leq 35$ 、 $30 \leq y+z+w \leq 50$ とし、残部はxであることがより好ましい。

【0049】次に、本発明における軟磁性膜の膜構造としては、図8に示すように、元素Mの酸化物（あるいは窒化物）が主体となっているアモルファス相に、Fe及び／またはCoを主体とする微結晶相が混在している。前記アモルファス相は、主に元素Mの酸化物で形成されているので、高い比抵抗 $\rho$ を示し、膜全体に関しても高い比抵抗を示す。特にFeと共に、あるいはFeに代えて、Coを添加すると、微結晶相にも酸素が含有され、前記微結晶相も高い比抵抗 $\rho$ を示し、膜全体の比抵抗 $\rho$ は、Fe-M-O膜の場合に比べて高くなる。

【0050】また軟磁性膜にCoを含有すると、前記軟磁性膜の一軸異方性は、Fe-M-O膜の一軸異方性よりも数倍大きくなり、従って、本発明における軟磁性膜の透磁率の周波数特性は、非常に良好なものとなる。た

だし、前記軟磁性膜にCoを添加すると、Fe-M-O膜に比べて、飽和磁束密度は低下する。

【0051】また本発明において、Fe及び/またはCoを主体とする微結晶相の結晶構造としては、bcc構造（体心立方構造）、fcc構造（面心立方構造）、hcp構造（稠密六方構造）のうちいずれであってもよいが、より好ましくは結晶構造の大半がbcc構造で形成されていることである。なお前記微結晶相の平均結晶粒径は30nm以下であることが好ましい。

【0052】

【発明の実施の形態】図5、図6は、本発明におけるインダクタの構造を示すものであり、図5は平面図、図6は図5の6-6線断面図である。図6に示すように、基板30上に取り出し電極31が形成されている。この取り出し電極31は、端子としての役割を有している。前記基板30上及び取り出し電極31上に、絶縁膜32と磁性膜33と絶縁膜34が順次積層され、絶縁膜34上にスパイラルコイル状の平面コイル35が形成される。平面コイル35の中心部は、絶縁膜32と本発明の軟磁性多層膜で形成された磁性膜33と絶縁膜34に開けられたスルーホールを介して取り出し電極31と接続されている。さらに平面コイル35を覆う絶縁膜36が形成され、絶縁膜36上に本発明の軟磁性多層膜で形成された磁性層37が形成されている。平面コイル35の端からは取り出し電極38が基板30上に延びている。前記取り出し電極38も、取り出し電極31と同様に端子としての機能を有している。

【0053】平面コイル35は、銅、銀、金、アルミニウムあるいはこれらの合金などの良導電性金属材料からなり、インダクタンス、直流重量特性、サイズなどに応じて、電気的に直列に、または並列に、さらに縦にあるいは横に絶縁膜を介して適宜配置することができる。また平面コイル35を並列的に複数設け、各平面コイル35を絶縁膜36を介して対向させることで、トランスを構成できる。さらに、平面コイル35は、導電層を基板上に形成後、フォトリソグラフィングすることにより各種の形状に作成できる。導電層の成膜方法としては、プレス圧着、メッキ、金属溶射、真空蒸着、スパッタリング、イオンブレーティング、スクリーン印刷焼成法などの適宜の方法を用いればよい。

【0054】絶縁膜32、34、36は、ポリイミドなどの高分子フィルム、SiO<sub>2</sub>、ガラス、硬質炭素膜などの無機質膜からなるものを用いることが好ましい。この絶縁膜32、34、36は、ペースト印刷またはスピンコート後に焼成する方法、溶融メッキ法、溶射、気相メッキ、真空蒸着、スパッタリング、イオンブレーティングなどの方法により形成される。

【0055】図7は、本発明の実施形態としての薄膜磁気ヘッドの縦断面図である。図7に示す薄膜磁気ヘッドは、浮上式ヘッドを構成するスライダのトレーリング側

端面に形成されたものであり、読み出しヘッド（再生ヘッド）上に書き込み用のインダクティブヘッドが積層された、いわゆるMR/インダクティブ複合型薄膜磁気ヘッドである。なお図7に示す薄膜磁気ヘッドは、インダクティブヘッドである。

【0056】図7に示す符号40は、本発明の軟磁性多層膜で形成された下部コア層40である。前記下部コア層40の上には、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などの非磁性の絶縁材料で形成されたギャップ層41が形成され、さらに前記ギャップ層41の上には、レジスト材料やその他の有機材料で形成された絶縁層42が形成されている。

【0057】前記絶縁層42上には、Cuなどの電気抵抗の低い導電性材料により、コイル層43が螺旋状に形成されている。なお前記コイル層43は、後述する上部コア層45の基端部45bの周囲を周回するように形成されているが、図7では前記コイル層43の一部のみが現れている。そして前記コイル層43の上には、有機樹脂材料などの絶縁層44が形成されている。

【0058】前記絶縁層44の上には、本発明の軟磁性多層膜で形成された上部コア層45が形成されている。上部コア層45の先端部45aは、記録媒体との対向部において、下部コア層40上に前記ギャップ層41を介して接合され、ギャップ長G1の磁気ギャップが形成されている。また上部コア層45の基端部45bは、ギャップ層41及び絶縁層42に形成された穴を介して、下部コア層40に磁氣的に接合されている。

【0059】書き込み用のインダクティブヘッドでは、コイル層43に記録電流が与えられると、下部コア層40及び上部コア層45に記録磁界が誘導され、下部コア層40と上部コア層45の先端部45aとの磁気ギャップ部分からの洩れ磁界により、ハードディスクなどの記録媒体に磁気信号が記録される。

【0060】本発明では、図5、6に示すインダクタの磁性膜33、37、及び図7に示す薄膜磁気ヘッドの下部コア層40、上部コア層45が、図1に示すように、軟磁性膜7が複数積層された軟磁性多層膜5によって形成されている。図1に示すように、前記軟磁性膜7は、その表面に酸化膜あるいは窒化膜の変質層8が形成され、前記変質層8以外の部分は、軟磁気特性を有する無変質層9である。前記変質層8は高周波帯域で、電気容量を有し、磁氣的なシールド膜としての機能を果たしている。

【0061】本発明において、前記軟磁性膜7は、図8に示すように、Fe及び/またはCoを主体とする微結晶相と、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、W、Al、Si、Cr、P、C、B、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素Mと、元素O及び/またはNを多量に含むアモルファス相とが混在した膜構造を有している。前記軟磁性膜7の表面に形成されている酸化膜あるいは窒化膜の変質層8にも、微

量ながらも、Fe及び／またはCoと、元素Mが含まれており、前記変質層8の構成元素は、軟磁気特性を有する無変質層9と同じであり、組成的には、前記軟磁性多層膜5は単層に近い状態となっている。

【0062】しかしながら本発明では、軟磁性膜7を構成する前記変質層8と無変質層9に含まれる酸素原子あるいは窒素原子の含有量が大きく異なり、積極的に、酸化膜あるいは窒化膜とされた変質層8には、多量の酸素原子あるいは窒素原子が含まれており、絶縁性を有している。さらに前記変質層8は、前述したように、高周波帯域で、電気容量を有しており、軟磁気特性を有する無変質層9間を磁氣的にシールドする機能を有している。

【0063】このように、前記軟磁性多層膜5を、軟磁性膜7の多層膜構造で形成することによって、膜厚を厚くすることで磁氣的な飽和を防止でき、しかも、各軟磁性膜7の表面に形成された変質層8によって、軟磁性特性を有する無変質層9の間が、磁氣的にシールドされているから、高周波におけるコア損失を低減することが可能である。従って、前記軟磁性膜を使用した上述のインダクタ及び薄膜磁気ヘッドは、優れた高周波特性を有することができる。

【0064】図1に示す軟磁性多層膜5を形成するには、スパッタ法、蒸着法などを使用すればよい。スパッタ装置としてはRF二極スパッタ、DCスパッタ、マグネトロンスパッタ、三極スパッタ、イオンビームスパッタ、対向ターゲット式スパッタなどの既存のものを使用すればよい。

【0065】スパッタ装置内には、軟磁性膜7を成膜するためのターゲットを用意し、スパッタ放電によって、図1に示す基板上に、前記軟磁性膜7を成膜する。この成膜時に、前記軟磁性膜7中に、 $O_2$ （酸素）、あるいは $N_2$ （窒素）を添加する方法としては、Arなどの不活性ガス中に $O_2$ ガス、あるいは $N_2$ ガスを混合した（Ar+ $O_2$ ）混合ガス、あるいは（Ar+ $N_2$ ）雰囲気中でスパッタを行う反応性スパッタ、あるいは、元素Mの酸化物あるいは窒化物のチップを用いた複合ターゲットをAr雰囲気中、あるいはAr+ $O_2$ 、Ar+ $N_2$ 雰囲気中でスパッタする方法が有効である。

【0066】図1に示す基板10上にまず第1層目の軟磁性膜7を成膜した後、スパッタ放電を止めて、 $O_2$ （酸素）、あるいは $N_2$ （窒素）を封入し、前記軟磁性膜7の表面に、酸化膜あるいは窒化膜の変質層8を形成する。この変質層8は高周波に対し、電気容量を有する。そして再び、スパッタ放電によって、前記変質層8上に第2層目の軟磁性膜7を成膜し、成膜後、スパッタ放電を止めて、酸素、あるいは窒素を封入して前記軟磁性膜7の表面に、酸化膜あるいは窒化膜の変質層8を形成する。この工程を繰り返すことによって、変質層8を除いた部分の軟磁気特性を有する無変質層9と絶縁性の変質層8とを交互に積層したような多層膜構造の軟磁性

多層膜5を形成することができる。

【0067】また前記軟磁性膜7の表面に酸化膜の変質層8を形成する方法としては、前述したように、軟磁性膜7を成膜後、装置内に酸素を封入する方法と、成膜された軟磁性膜7を、大気中にさらすことによって、前記軟磁性膜7の表面に酸化膜の変質層8を形成することができる。なお、前記軟磁性膜7の組成にO（酸素）を含有するときは、前記軟磁性膜7の表面に酸化膜の変質層8を形成することが好ましい。あるいは、前記軟磁性膜7の組成にN（窒素）を含有するときは、前記軟磁性膜7を成膜後、窒素を封入することによって、前記軟磁性膜7の表面に窒化膜の変質層8を形成することが好ましい。

【0068】次に本発明で使用する軟磁性膜7の組成について説明する。前記軟磁性膜7は $(Fe_{1-x}Co_x)_xM_yL_zO_w$ から成る組成によって形成される。ただし、Mは、Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W, Al, Si, Cr, P, C, B, Ga, Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Lは、Pt, Ru, Rh, Pd, Ir, Os, Sn, Ti, Au, Ag, Cuから選ばれる1種または2種以上の元素であり、組成比を示すaは、 $0 \leq a \leq 0.5$ 、x, y, z, wはat%で、 $5 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $5 \leq w \leq 40$ 、 $10 \leq y+z \leq 40$ であり、残部はxである。

【0069】より好ましくは、前記軟磁性膜の組成比を示すaは、 $0 \leq a \leq 0.3$ 、x, y, z, wはat%で、 $7 \leq y \leq 15$ 、 $0 \leq z \leq 5$ 、 $20 \leq w \leq 35$ であり、残部がxである。また本発明では、前記元素Mは、Zr, Hfのうち一方あるいは両方を含む元素であることが好ましい。

【0070】あるいは本発明では、前記軟磁性膜7は $(Co_{1-x}T_x)_xM_yL_zO_w$ の組成で形成されている。ただし、TはFe, Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Mは、Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Cr, Mo, Si, P, C, W, B, Al, Ga, Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Lは、Au, Ag, Cu, Ru, Rh, Os, Ir, Pt, Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比を示すaは、 $0 \leq a \leq 0.7$ 、x, y, z, wはat%で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ の関係を有し、残部はxである。より好ましくは、前記軟磁性膜の組成比を示すaは、 $0 \leq a \leq 0.3$ 、x, y, z, wはat%で、 $7 \leq y \leq 15$ 、 $0 \leq z \leq 19$ 、 $20 \leq w \leq 35$ 、 $30 \leq y+z+w \leq 50$ の関係を有し、残部はxである。

【0071】また本発明では、前記元素TはFeであることが好ましく、この場合、CoとFeの濃度比は、 $0.3 \leq \{Co / (Co+Fe)\} \leq 0.8$ であること

が好ましい。元素TをFeとして、CoとFeとの割合を $0.3 \leq \{Co / (Co + Fe)\} \leq 0.8$ とすることで、より優れた軟磁気特性及び周波数特性を得ることができる。さらに好ましくは、CoとFeとの割合を7:3とすると良い。また本発明における前記軟磁性膜を構成する一元素として、Oの代わりにNが、あるいはOと共にNが用いられてもよい。なお本発明の軟磁性膜7によれば、 $300 \sim 3000 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 程度の比抵抗を得ることが可能である。

【0072】以上のように本発明では、図1に示すように、軟磁性多層膜5は、複数の軟磁性膜7が積層された多層膜構造で形成されており、しかも、各軟磁性膜7の表面には、高周波に対し電気容量を有する酸化膜あるいは窒化膜の変質層8が形成され、軟磁性特性を有する無変質層9の間が、前記変質層8によって磁気的にシールドされている。このように、前記軟磁性多層膜5を、軟磁性膜7の多層膜構造で形成することによって、膜厚を厚くすることで磁気的な飽和を防止でき、しかも、各軟磁性膜7の表面に形成された変質層8によって、軟磁性特性を有する無変質層9の間が、磁気的にシールドされているから、高周波におけるコア損失を低減することが可能である。

【0073】特に本発明では、軟磁性膜7を成膜するために使用するターゲットのみを用いることによって、図1に示す無変質層9と変質層8が、交互に積層された多層膜構造を形成でき、製造工程を容易化することができる。しかも、前記軟磁性膜7の無変質層9と変質層8は、組成的には同じであるので、エッチングレートもほぼ同じであり、加工性を向上させることができる。

【0074】なお本発明では、図1に示す軟磁性多層膜5を使用する具体的な実施例として、インダクタ(図5, 6)と薄膜磁気ヘッド(図7)を挙げたが、例えば、一次側と二次側のコイルを設けた薄膜トランスの軟磁性多層膜にも適用できる。この軟磁性多層膜を使用した薄膜トランスは、上述のインダクタ及び薄膜磁気ヘッドと同様、優れた高周波特性を有することができる。さらに近年では、移動通信機器が発達し、機器の小型化及び高周波化が要求されている。こうした中で、例えば携帯電話機用のLCフィルタの構成要素の中で占有面積の大きい空心インダクタに、前記軟磁性多層膜5を適用することにより、高周波特性に優れたフィルタを提供することができる。

【0075】

【発明の効果】以上詳述した本発明によれば、例えば、組成にO(酸素)及び/またはN(窒素)を有し、膜構造としては、Fe及び/またはCoを主体とする微結晶相と、元素M(Hfなど)とO及び/またはNを多量に

含むアモルファス相とが混在する構造である軟磁性膜を成膜した後、前記軟磁性膜の表面を酸化あるいは窒化して変質層を形成し、表面に前記変質層が形成された軟磁性膜を積層して多層膜化している。本発明では、前記変質層は、高周波帯域において電気的な容量成分を有し、磁気的なシールド機能を発揮するため、前記軟磁性膜の膜厚を薄く形成して多層膜化すれば、コア損失の低減を図れると同時に、磁気的な飽和を防止することができる。

【0076】特に本発明においては、軟磁性膜を成膜するために必要なターゲットのみで、表面に変質層を有する軟磁性膜の多層膜構造を形成でき、製造工程の容易化を実現できると共に、前記変質層の構成元素は、軟磁性膜と同じであるので、加工性にも優れている。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明における軟磁性多層膜の構造を示す断面図、

【図2】 $3.0 \mu\text{m}$ の膜厚を有するFe-Hf-O膜を成膜し、前記Fe-Hf-O膜における表面からの深さと、各原子の含有量との関係を示すグラフ、

【図3】Fe-Hf-O膜における周波数とインピーダンスとの関係を測定するための実験図、

【図4】Fe-Hf-O膜における周波数とインピーダンスとの関係を示すグラフ、

【図5】本発明の実施形態の構造を示す平面型磁気素子(インダクタ)の拡大平面図、

【図6】図5に示す6-6線の断面図、

【図7】本発明の実施形態の構造を示す薄膜磁気ヘッドの縦断面図、

【図8】本発明における軟磁性膜の膜構造を表す模式図、5

【図9】従来におけるインダクタの断面図、

【符号の説明】

5 軟磁性多層膜

7 軟磁性膜

8 変質層

9 無変質層

30 基板

31、38 取り出し電極

32、34、36 絶縁膜

33、37 磁性膜

35 平面コイル

40 下部コア層

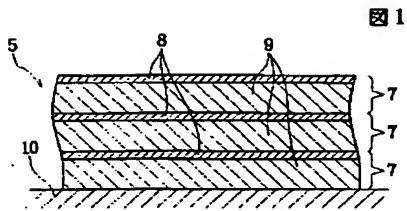
41 ギャップ層

42、44 絶縁層

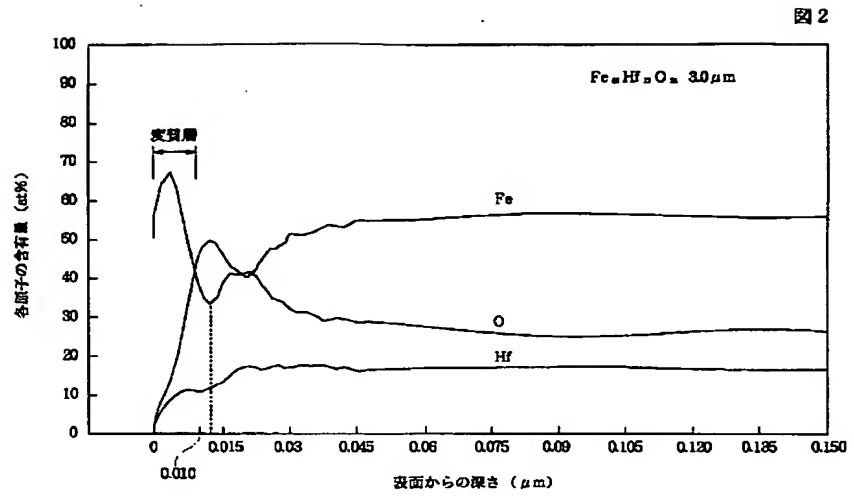
43 コイル層

45 上部コア層

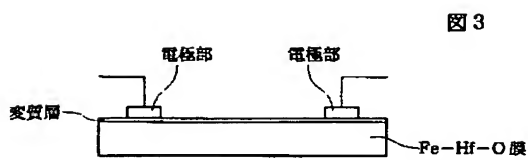
【図1】



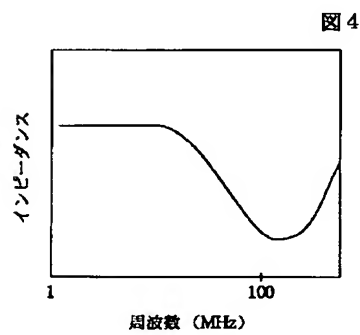
【図2】



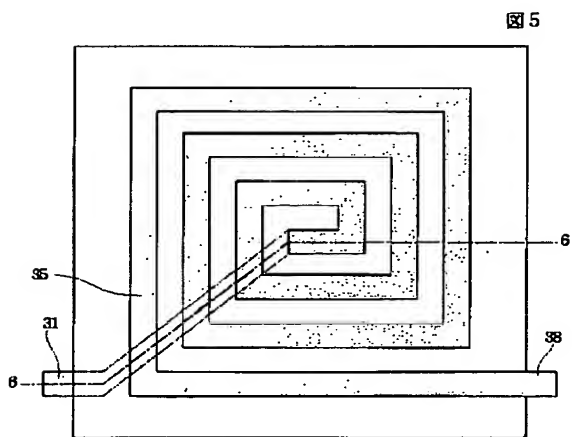
【図3】



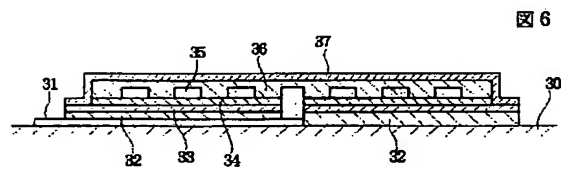
【図4】



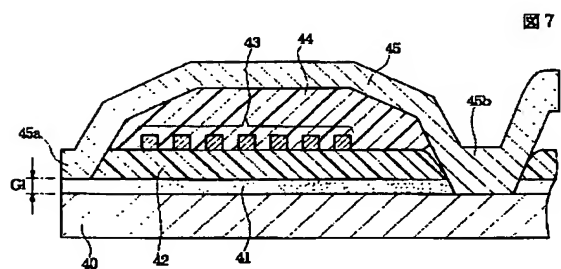
【図5】



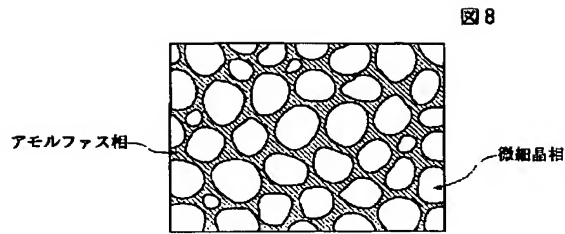
【図6】



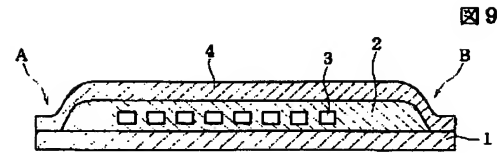
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup> 識別記号  
H 0 1 F 17/04

F I  
H 0 1 F 17/04

テーマコード (参考)

F

(72)発明者 佐藤 敏郎  
長野県長野市稲葉1006-1  
(72)発明者 山沢 清人  
長野県長野市松代町城東90番地  
(72)発明者 佐々木 義人  
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(72)発明者 畑内 隆史  
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

F ターム (参考) 5D033 BA08 CA01 DA02 DA31  
5D093 BC05 HA05 HA06 JA01 JA06  
5E049 AA01 AA04 AA09 AC01 AC05  
BA12 DB04 DB14  
5E070 AA01 AA11 AB02 BA11 BB02  
CB04 CB12